

固-液界面接触角测定实验的课程思政设计

戴春爱^{1,*}, 韩永生^{1,2}, 颜鲁婷¹, 李振³, 曹莹泽⁴

¹ 北京交通大学物理科学与工程学院, 北京 100044

² 中国科学院大学化学工程学院, 北京 100049

³ 中国航天科技创新研究院, 北京 100088

⁴ 中国空间技术研究院, 北京 100094

摘要: 固液界面接触角的测定是一个重要的物理化学实验, 本案例结合特殊润湿性材料可处理含油废水这一科研进展, 将其改进为一个融入课程思政元素的综合创新实验, 不仅能提升学生的学习兴趣, 还能引导学生学会理论联系实际, 利用所学专业知识和技能来保护自然、治理环境, 培养学生的社会责任感和专业自豪感, 有助于达成创新型人才培养目标。

关键词: 接触角测定; 物理化学实验; 特殊润湿性; 含油废水处理; 课程思政

中图分类号: G64; O6

Ideological and Political Design of Solid-liquid Contact Angle Measurement Experiment

Chunai Dai^{1,*}, Yongsheng Han^{1,2}, Luting Yan¹, Zhen Li³, Yingze Cao⁴

¹ School of Physical Science and Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China.

² School of Chemical Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China.

³ China Academy of Aerospace Science and Innovation, Beijing 100088, China.

⁴ China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China.

Abstract: The measurement of solid-liquid contact angle holds significant importance in physical chemistry experiments. In this study, we have enhanced this experiment by incorporating the latest advancements in scientific research, specifically focusing on the application of special wettability materials for treating oily wastewater. The resulting comprehensive and innovative experiment integrates ideological and political elements, aiming to not only enhance students' learning interest but also guide them in applying theory to practical scenarios, utilizing their specialized knowledge to protect the environment and remediate nature. By fostering students' sense of social responsibility and professional pride, this teaching reform effectively achieves the goal of cultivating innovative talents.

Key Words: Contact angle measurement; Physical chemistry experiment; Special wettability; Oily wastewater treatment; Ideological and political education

1 引言

润湿是自然界和生产过程中常见的现象, 接触角是表征液体在固体表面润湿性的重要参数, 当液滴在固体表面达到平衡时, 在气、液、固三相交界处作气-液界面的切线, 该切线与固-液界面的夹

收稿: 2023-06-27; 录用: 2023-07-26; 网络发表: 2023-08-11

*通讯作者, Email: chadai@bjtu.edu.cn

基金资助: 北京交通大学教育教学改革与建设项目(134001187522, SQ20230283)

角即为接触角。接触角测定在防腐、减阻、矿物浮选、印染、焊接等方面有广泛的应用^[1,2]，因此不少高校在物理化学实验中都设置了接触角的测定实验内容^[3-5]。通过开展该实验，学生了解液体在固体表面的润湿过程以及接触角的含义与应用，掌握接触角测量仪的基本结构和工作原理。但在原实验的教学中，学生往往陷入照方抓药的机械操作，关注于接触角测量仪的开机、调焦、加样、接样、冻结图像、量角、量高等规范而机械的操作，对本实验的理论和现实意义理解不够，兴趣不足。一般来说，当液滴与固体表面接触角大于 150° 、滚动角小于 10° 时，固体表面表现为超疏液性；当液滴与固体表面接触角接近于 0° 时，固体表面表现为超亲液性^[6]。超疏水、超亲水、超疏油、超亲油性质均称为特殊润湿性。对水和油具有不同亲疏润湿性的材料可实现水相和油相分离，特殊润湿性材料应用于油水分离已成为近年来科学研究的热点^[7-9]。

结合科研进展，本案例将接触角的测定实验设计为一个融入思政教育的综合创新实验。聚焦水体油污染环境问题，由学生查阅文献自己设计制备特殊润湿性膜材料，测定膜的水接触角和油接触角表征其对于水和油的不同润湿性，然后将其应用于含油废水处理。案例将问题调研、文献检索、方案设计、实验操作、制备表征、性能测试及实际应用等科学研究的整个环节融入其中，引导学生掌握并利用课堂学习的理论知识去解决实际生活中的环境污染问题，培养大学生强烈的社会责任感、专业自豪感，激发学习兴趣和探究热情，培养大学生严谨的科学思维以及创新能力，有效实现课程育人功能。

2 课程思政案例的设计与实施

2.1 案例的导入

频繁的海上漏油事件和来自工业及生活含油废水的排放严重影响了资源环境和人类健康(图1)。常规重力分离、离心分离、浮选、电场、混凝等物理化学方法及生物处理方法可综合应用以满足油水分离的需要，但这些方法通常存在成本高、分离效率低、二次污染等局限性，可实现相分离的膜处理技术因能耗低、效率高的优势引起了人们的关注，利用特殊润湿性膜对油和水的不同润湿性可将液-液分散体系中的油相和水相分开。



图1 水体油污染

案例的导入通过布置学生4个文献调研任务进行驱动：(1) 水体油污染环境现状；(2) 水体油污染的处理方法及其优缺点；(3) 膜分离技术的优缺点；(4) 如何制备可用于油水分离的特殊润湿性膜。4个文献调研任务引导学生发现现实环境问题并逐步深入思考问题、解决问题。

2.2 案例的研讨

案例导入的4个文献调研任务由学生自主学习、小组(3-4人)学习和组内线上线下交流完成，任务的完成情况则通过小组PPT展示来检验，第4个任务可用于油水分离的特殊润湿性膜的制备方案的设计为重点考察内容。在实验课前，各组进行PPT展示，其他小组、任课教师与该小组就其制备方案的合理性、可操作性、严谨性、优缺点等进行充分讨论，各小组之间相互借鉴，最后形成思路清晰、内容完整、结构严谨、实验易操作的方案报告。

2.3 实验的创新设计

(1) 接触角的测定实验不再停留在目的性不强地对实验室常见载玻片固体表面进行润湿性的简单测试或验证操作，而是将文献查阅、方案设计、材料制备、性能表征测试及实际应用等科学研究的整个环节融入实验中，启发学生对材料制备、结构、性能三者关系的思考，将所学理论课知识融会贯通并进行实际应用，培养综合创新能力。表1为融入思政教育的实验设计思路。

表1 融入思政教育的实验设计

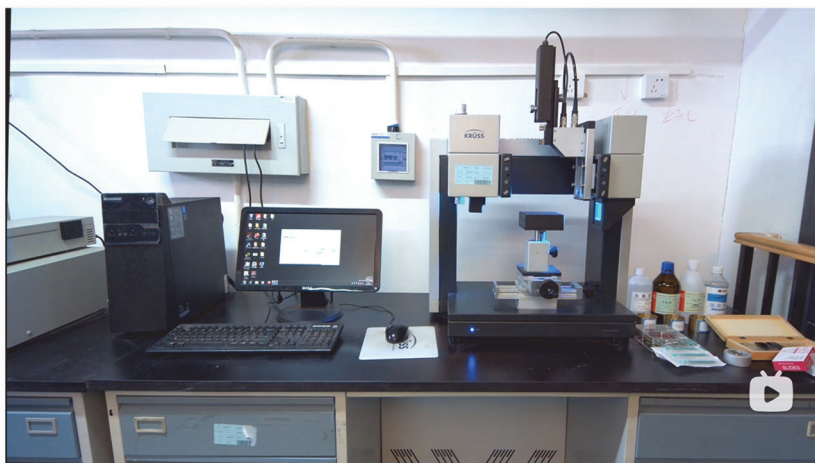
各环节	知识	能力培养	思政元素
文献查阅	(1) 水体油污染环境现状 (2) 水体油污染的处理方法及其优缺点 (3) 膜分离技术的优缺点	文献查阅、自主学习、发现问题	环保意识、社会责任感、学科交叉
方案设计 & PPT 展示	(1) 可用于油水分离的特殊润湿性膜的制备 (2) 润湿性基本理论：表面张力、固液界面、接触角、Young's方程、Young-Laplace方程 (3) 接触角测量仪原理及使用(线上视频教学)	思考-解决问题、自主学习、小组讨论	专业兴趣、专业素养、专业自豪感、团结协作
实验操作(材料制备、性能表征、应用)	(1) 特殊润湿性膜的制备原理及实验操作 (2) 接触角的测量原理及操作 (3) 含油废水处理实验装置的搭建和操作	实验操作、仪器使用、装置设计、创新、发现-思考-解决问题	安全教育、守时、团结协作、严谨、实事求是、节约环保意识、实践、创新、坚持
报告	(1) 报告撰写 (2) 润湿性在能源、环境方面的应用	数据分析、归纳总结、文献查阅	学术道德、科学前沿、勇于探索的创新精神

(2) 在实验方案的设计和PPT展示交流过程中，引导学生进行实验的可行性分析、评估制备方案的难易程度、考虑药品试剂的安全性和环保性等，较好地培养学生严谨的科学思维和综合解决问题的能力。

(3) 实验强调将书本理论知识应用于现实问题，突出了本实验的意义、学习的意义、科学研究的意义以及化学材料环境等学科专业的重要意义。

2.4 案例的实施

在正式实验前，学生通过文献查阅调研，了解水体油污染环境现状、水体油污染的处理方法及其优缺点、膜分离技术的优缺点；掌握可用于油水分离的特殊润湿性膜的制备的原理和方法。4个一环套一环的文献调研任务能较好地培养学生发现问题、思考问题和解决问题的能力；在进一步的方案设计过程中，学生需要深入学习掌握润湿性理论、接触角的含义及测试原理等，认识接触角测定的意义，这种研究性教学打破了接触角测定实验的传统教学模式，实现“以教师为中心”到“以学生为中心”的转变。同时，接触角测定实验操作采取线上线下教学相结合的方式，正式实验操作前教师预先分享bilibili网站接触角测量视频(图2)供学生学习参考^[10]。

图2 bilibili网站接触角测量视频截图^[10]

在前期文献查阅和方案设计的基础上学生完成实验预习报告，实验室采取预习报告准入制度。进实验室后，正式实验前教师先进行部分实验设备仪器的操作演示和注意事项的提醒，然后各组学生正式分工合作进行其涉及材料科学四要素的实验，即特定成分结构的特殊润湿性膜的制备、接触角的测定、含油废水处理：

(1) 可用于油水分离的特殊润湿性膜通常分为两大类，一类是超疏水/超亲油的除油型膜，可以选择性地将油相从混合物中分离，一类是超亲水/超疏油的除水型膜，可以将水从混合物中选择性分离；常见特殊润湿性膜制备方法包括溶胶-凝胶、刻蚀、气相沉积、自组装等等，各组学生按照设计的实验方法和方案通过调节材料表面微观结构和化学组成完成特定除水型或除油型膜的制备，制备过程中学生需要控制好反应条件，要求操作规范安全、药品节约正确取用以及三废正确处理；

(2) 膜接触角的测定包含水接触角和油接触角的测定，测定过程中，除掌握接触角测量仪的开机、调焦、加样、软件等使用操作外，学生更需要深入思考影响接触角测量准确性的因素，例如光学成像系统中样品的合理放置、接触角随时间的变化、样品不同位置接触角的差异等等，并通过细致灵活的操作以保证准确和平行测定，通过测得的接触角值判断膜对水和油的亲疏润湿性从而确定膜的类型；

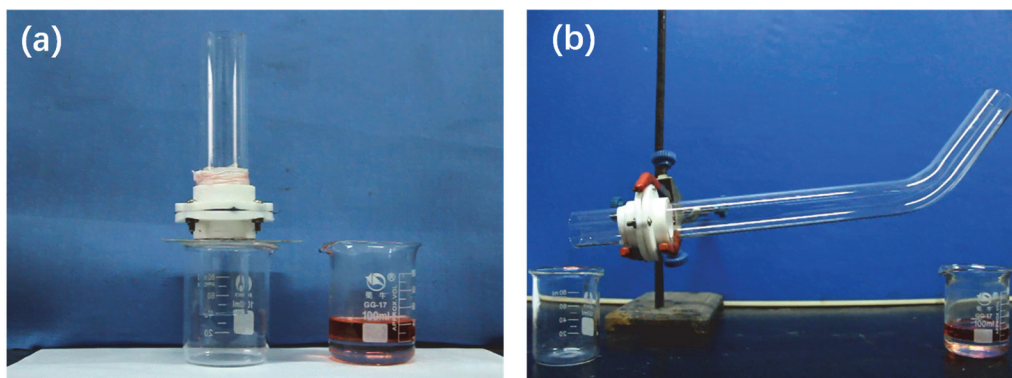
(3) 含油废水处理实验由学生自组装搭建装置进行，由于各组制备的油水分离膜的类型不同，学生需要自主思考设计搭建装置及含油(轻油或重油)废水模型，以实现含油废水的有效处理。以含(轻)油废水处理为例(图3)，小密度的轻油相(为观察效果，采用苏丹将油染为红色)会浮于大密度的重水相之上，对于超亲水/超疏油的除水型膜，可采用a装置，将废水由直管上方倒入，水相透过膜而油相被拦截，可实现两相有效分离。但对于超疏水/超亲油的除油型膜，采用a装置时，水相被膜拦截后，油相会浮于水相之上无法与膜接触作用，则不能实现有效除油；因此需采用b装置，将废水缓缓倒入膜右侧倾斜管，水相被膜拦截，处于水相上的油相依然能与膜接触作用从而达到除油目的。整个实验过程中，教师不断巡查，对学生的操作进行指导和评价，并指导学生实事求是、完整保存和记录实验现象数据。

实验结束后，同学们对实验结果进行正确处理和分析、对实验过程进行复盘、总结得失体会，完善实验报告。

2.5 课后拓展

课后，安排学生以小组为单位完成以下拓展内容：

(1) 各组将实验结果制作成PPT进行交流研讨，相互评价实验成果，对照别人的实验结果分析总结自己的实验可以改进和完善的地方。

图3 含(轻)油废水处理^[11]

(a) 除水型膜装置; (b) 除油型膜装置

(2) 调研特殊润湿性膜在含油废水处理方面仍存在的亟需解决的问题, 培养学生勇于探索的创新精神^[12]。

(3) 调研固体表面的润湿性在能源、环境方面还有哪些应用, 进一步引导学生树立绿色化学思维及可持续发展理念^[13,14]。

这些内容可作为实验报告的内容, 也可作为小组作业、小组报告、综述论文、实施方案、方案评价和小组展示的内容。

3 实施建议与效果考核

教师在教学运行的全过程对课程思政教学目标的实现程度进行评价, 对学生在文献调研方案设计、预习报告、实验报告、小组报告(包括调研报告或者论文)等各形式环节所体现的素质和能力制订相关评价标准, 采用多样化的考核手段进行评价考核, 表2为思政教学目标达成度的考核设计。

表2 思政教学目标达成度的考核设计

课程思政教学目标	考核形式(手段)	考核标准
社会责任: 节约环保意识、绿色化学理念	课前课后小组PPT(教师点评、学生打分互评); 课后小组报告(教师打分)	PPT能够说明水环境油污现状及处理研究进展、所设计方案能够体现绿色化学理念; 小组报告能够说明固体表面的润湿性理论在能源、环境方面的应用
科学素养: 学科专业素养、自主学习、良好的实验习惯、安全规范操作、严谨、探索创新精神	预习/实验报告(教师打分); 实验过程(教师打分); 课后小组报告(教师打分)	具有一定的方案设计能力, 实验预习充分; 能够安全规范操作和处置实验室废物, 能够仔细观察实验现象、如实记录实验数据, 能够分析解决实验过程中出现的问题; 能够正确合理严谨地处理实验数据, 具备严谨、实事求是的科学态度, 善于思考总结归纳实验得失; 报告撰写规范深入
道德修养: 守时、团结协作、实事求是、学术道德	全过程(教师打分)	能够按时完成各环节任务; 能够合理分工团结协作, 主动承担任务不推责; 尊重实验事实、不弄虚作假

考核结果显示, 含油废水环境污染问题的文献查阅培养了学生的社会责任感和节约环保意识, 促进了绿色化学理念的树立。用科研课题探究性学习的方式吸引了学生的注意力, 让学生体会到学有所用, 极大地激发了学生的专业兴趣、专业自豪感以及对于科研的兴趣。实验操作环节提高了学生的安全实验意识, 培养了学生严谨求实的科学态度, 强化了团队意识和创新精神。报告的撰写训练了学生的分析、归纳、总结和写作能力, 同时加强了学术道德教育。

4 结语

实验在创新人才的培养方面具有得天独厚的优势。北京交通大学进行了实验教学改革,设计了融入思政教育的固-液界面接触角测定物理化学实验,教学实践表明,通过开展该实验,学生不仅可以加深理解润湿性的理论知识,掌握材料制备的一般方法、表征以及性能测试等基本操作,更能学会利用课堂学习的理论知识解决实际生活中的环境污染问题。该实验的设计充分利用实验教学优势进行思政教育,培养当代大学生强烈的社会责任感、专业自豪感、学科专业素质、科学思维以及创新能力,有效实现了课程育人功能。

参 考 文 献

- [1] 江雷, 冯琳. 仿生智能纳米界面材料. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [2] 江雷. 仿生智能纳米材料. 北京: 科学出版社, 2015.
- [3] 邢宏龙, 刘传芳, 谢慕华, 李林刚. 物理化学实验. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [4] 张树永, 范楼珍, 淳远, 刘永梅, 田福平, 白云山, 宋淑娥. 大学化学, **2022**, 37 (6), 2108061.
- [5] 王军, 张丽君. 物理化学实验. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [6] 张靓, 赵宁, 徐坚. 科学通报, **2013**, 58 (33), 3372.
- [7] 郭志光, 刘维民. 仿生油水分离工程材料——原理与应用. 北京: 科学出版社, 2020.
- [8] Xue, Z. X.; Cao, Y. Z.; Liu, N.; Feng, L.; Jiang, L. *J. Mater. Chem. A*. **2014**, 2 (8), 2445.
- [9] Bai, X. G.; Yuan, Z. C.; Lu, C. G.; Zhan, H. Y.; Ge, W. N.; Li, W. Z.; Liu, Y. H. *Nanoscale* **2023**, 15 (11), 5139.
- [10] 接触角测量与固体表面能计算. [2023-06-21].
https://www.bilibili.com/video/BV1uo4y1C7yz/?spm_id_from=333.337.search-card.all.click&vd_source=9cc4bc399e8ded8beeab34728c8f5c
- [11] Dai, C. A.; Liu, N.; Cao, Y. Z.; Chen, Y. N.; Lu, F., Feng, L. *Soft Matter* **2014**, 10 (40), 8116.
- [12] Zhu, H.; Guo, Z. G. *J. Bionic. Eng.* **2016**, 13 (001), 1.
- [13] 李天平, 王鹏, 张盾. 腐蚀与防护, **2017**, 38 (9), 697.
- [14] 曹怀杰, 陈守刚, 刘盈. 功能材料, **2016**, 47 (11), 11226.